



SKRIPSI-141501

**Pembangunan Prototipe *Linear engine* silinder tunggal 2
langkah menggunakan *Spring System***

GINANJAR BASUKI
NRP: 4212 100 119

Dosen Pembimbing
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2017

“Halaman ini sengaja di kosongkan”



THESIS-141501

**Development of Two Stroke Single Cylinder Free Piston
Linear Engine Using Spring System as Working Cycle**

GINANJAR BASUKI
NRP: 4212 100 119

Supervisor
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty Of Ocean Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
Pembangunan Prototipe *Linear engine* silinder tunggal 2
langkah menggunakan *spring system*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana pada Bidang Marine Power Plant
(MPP)

Program S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GINANJAR BASUKI
NRP. 4212100119

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan




Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT
NIP. 197708022008011007

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN
Pembangunan Prototipe *Linear engine* silinder tunggal 2
langkah menggunakan *spring system*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana pada Bidang Marine Power Plant
(MPP)

Program S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
GINANJAR BASUKI
NRP. 4212100119

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D.....
NIP. 19560519198601001

Surabaya
Januari, 2017

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

Pembangunan Prototipe *Linear engine* Silinder Tunggal 2 langkah menggunakan *spring system*

Nama Mahasiswa : Ginanjar Basuki
NRP : 4212100119
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah,
M.Eng, Ph.D

ABSTRAK

Penelitian yang berkaitan dengan linear engine terus berkembang, mulai dari desain mesin, prediksi performa dan berbagai analisis. Sebuah analisis siklus kerja mesin linear dengan menggunakan sistem pegas adalah penelitian yang sangat inovatif. Pada penelitian ini dilakukan pembangunan linear engine silinder tunggal dengan sistem pegas. Pembangunan linear engine menggunakan sistem pegas sudah dilakukan dengan memodifikasi dari mesin konvensional dengan metode reverse engineering. Siklus kerja mesin dari titik mati bawah(TMB) ke titik mati atas (TMA) telah dimodifikasi untuk mengubah casing sistem pembilasan. Hasil pembangunan yang meliputi pembuatan sistem pegas, sistem pengapian dan linear engine harus direalisasikan. Linear engine ini juga dikalibrasi dan hasilnya sesuai dengan desain. Mesin tidak dapat bekerja stabil, pembakaran hanya terjadi pada saat penyalaan . Dari pemeriksaan semua sistem dapat bekerja, tetapi sistem pembilasan mengalami penurunan dibandingkan dengan mesin konvensional. Diduga tingkat kevakuman kurang dalam proses pembilasan. Sistem penyalaan yang diadopsi dari mesin diesel tidak cocok untuk pembangunan linear engine dengan memodifikasi motor bensin bensin dua langkah.

Kata kunci : *Linear engine*, Mesin Konvensional, Sistem Pegas

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

Development of Two Stroke Single Cylinder Free Piston Linear Engine Using Spring System as Working Cycle

Name : Ginanjar Basuki
NRP : 4212100119
Department : Marine Engineering
Supervisor : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah,
M.Eng, Ph.D

ABSTRACT

Researches related to linear engine continue to be studies, ranging from engine design, performance prediction and analysis of various other kinds. An analysis the working cycle of the linear engine with a spring system is very important. This study is development a two stroke, single cylinder linear engine with a spring system. The development was done by modifying from a conventional engine with reverse engineering methods. The working cycle of the engine from the bottom dead center (BDC) to top dead center (TDC) has been modified to change the casing of scavenging system. The results of the development include the manufacture of the spring system, ignition system and a linear engine has to be realized. The engine is also calibrated and the results are in accordance with the design. The engine can not work stable, once the burning has been done only at the time of start. From troubleshooting all systems can work, but the scavenging system has decreased compared to a conventional engine. Allegedly is less vacuum level in the scavenging process. The system adopted from the start of the diesel engine is not suitable for two stroke gasoline of linear engine.

***Keywords*-Linear Engine, Conventional Engine, Spring system**

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur hanya ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pembangunan *Linear engine* silinder tunggal 2 langkah menggunakan *spring system*”

Skripsi ini adalah salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS.

Penulis menyadari bahwa analisa ini dapat terselesaikan karena adanya bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng Badruz Zaman, S.T, M.T selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
2. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membimbing terselesainya tugas ini
3. Bapak Hardiman yang telah memberikan izin tempat dalam mengerjakan skripsi ini
4. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS
5. Ibu Sarmini dan Ayah Parlan yang senantiasa berdo'a demi kelancaran mengerjakan tugas akhir ini.
6. Hermawan Setia Budi, Dwi Agustin dan Tri Nur Romadhon yang telah memberikan inspirasi kepada penulis
7. Nidia Ratna Nawangsari yang telah memberikan saran untuk mengambil Departemen Teknik Sistem Perkapalan dan yang selalu memberikan motivasi sebelum dan setelah masuk di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS
8. Teman teman Bismarck 2012 yang memberikan semangat terselesainya skripsi ini
9. ITS Marine Solar Boat Team yang menginspirasi untuk selalu bersemangat

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Perumusan Masalah.....	2
1. 3 Tujuan.....	2
1. 4 Batasan Masalah	2
1. 5 Manfaat.....	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Mesin Konvensional 2 Langkah	5
2.2. <i>Linear engine</i>	9
2.3. Pegas	11
BAB III.....	15
METODE PENELITIAN	15
3.1 Pengumpulan data.....	15
3.3 Penetapan komponen	17
3.4 Perakitan komponen	17
3.4 Pengujian dan Kalibrasi.....	17
3.5 Hasil Pembangunan <i>Linear engine</i>	17
3.6 Kesimpulan dan Saran	18
BAB IV.....	19
HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4. 1 Penetapan komponen-komponen.....	19
4. 2 Pembangunan sistem penyalan linear engine.....	25
4. 3 Perakitan <i>linear engine</i>	31
4. 4 Perencanaan sistem pegas.....	33

4. 5 Pengujian <i>linear engine</i>	43
4. 6 Pemeriksaan Sistem.....	51
BAB V	61
PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62
LAMPIRAN	65
Lampiran I Data Objek.....	67
Lampiran II Pembuatan Poros <i>Linear engine</i>	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Motor 2 langkah	6
Gambar 2.2 FPE Single Piston.....	9
Gambar 2.3 FPE Dual Piston	9
Gambar 2.4 FPE Opposed Piston	10
Gambar 2.5 Geometri Pegas jenis helix	12
Gambar 3.1 Flow Chart Pengerjaan Skripsi	16
Gambar 4.1 Ruang bakar.....	20
Gambar 4.2 Kaburator.....	20
Gambar 4.3 Knalpot.....	21
Gambar 4.4 Torak.....	21
Gambar 4.5 Desain <i>crankcase linear engine</i>	22
Gambar 4.6 Hasil pembuatan <i>crankcase linear engine</i>	23
Gambar 4.7 Rancangan poros <i>linear engine</i>	23
Gambar 4.8 Rancangan sistem penyalan	25
Gambar 4.9 Susunan komponen pengapian.....	27
Gambar 4.10 CDI	28
Gambar 4.11 Pulser	28
Gambar 4.12 Baterai	29
Gambar 4.13 Koil	28
Gambar 4.14 Busi	30
Gambar 4.15 Susunan komponen linear engine	31
Gambar 4.16 Hasil pembangunan linear engine.....	32
Gambar 4.17 <i>Perencanaan crankcase sistem</i>	34
Gambar 4.18 Connecting rod linear engine	35
Gambar 4.19 Perencanaan penahan langkah torak	36
Gambar 4.20 perencanaan penahan pegas.....	37
Gambar 4.21 Pengukuran panjang torak	39
Gambar 4.22 Alat ukur kompresi	39
Gambar 4.23 Hasil pengukuran pegas	41
Gambar 4.24 Hasil pengukuran ruang bakar linear engine...	42
Gambar 4.25 Hasil pengujian tekanan ruang bakar	44
Gambar 4.26 Titik pengapian linear engine.....	46
Gambar 4.27 Diagram motor konvensional.....	48
Gambar 4.28 Pemeriksaan suplai bahan bakar linear engine ...	49
Gambar 4.29 Perbandingan penambahan pelumas padat	52

Gambar 4.30 Pengukuran tekanan ruang bakar.....	52
Gambar 4.31 Pemeriksaan suplai bahan bakar pada mesin konvensional.....	53
Gambar 4.32 Pemeriksaan suplai bahan bakar pada Linear engine	54
Gambar 4.33 Pemeriksaan suplai bahan bakar pada Mesin konvensional.....	55
Gambar 4.34 Peristiwa pembakaran pada linear engine	57
Gambar 4.35 Simulasi aliran bahan bakar	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi Mesin Konvensional	15
Tabel 4.1 Data Pegas 1	40
Tabel 4.2 Data Pegas 2	40
Tabel 4.3 Data Pegas 3	40
Tabel 4.4 Hasil pengukuran tekanan ruang bakar linear engine	44
Tabel 4.5 Hasil kalibrasi linear engine	50
Tabel 4.6 Hasil pengujian linear engine	50
Tabel 4.7 Pemeriksaan suplai bahan bakar linear engine	54
Tabel 4.8 Pemeriksaan suplai bahan bakar mesin Konvensional	55
Tabel 4.9 Titik pengapian <i>linear engine</i>	58

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

Penelitian untuk mengembangkan mesin konvensional saat ini banyak dilakukan, baik mesin konvensional yang digunakan transportasi maupun untuk industri. Berbagai penelitian dilakukan untuk meningkatkan efisiensi mesin konvensional.

Linear engine adalah salah satu inovasi yang dianggap dapat meningkat nilai efisiensi lebih dari mesin konvensional. Gerakan translasi yang dihasilkan oleh torak dapat secara langsung digunakan untuk kebutuhan gerakan *linear* tanpa menggunakan crankshaft untuk mengkonversi gerakan translasi tersebut. Dengan demikian diharapkan dapat menurunkan kerugian-kerugian akibat konversi gerakan translasi menjadi gerakan rotasi.

Penelitian terkait dengan *Linear engine* banyak dilakukan mulai dari sistem penyalan, sistem bahan bakar, prediksi tenaga yang dihasilkan oleh *Linear engine*, proses pembalik gerakan torak dari TMB ke TMA *Linear engine* seperti menggunakan pneumatis, hidrolis, maupun pegas. (Fathalaz, 2011)

Oleh karena itu, berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui dan menganalisa *Linear engine* maka peneliti akan mencoba melakukan pembangunan prototipe *Linear engine* 2 langkah menggunakan sistem pegas dengan memodifikasi mesin konvensional

1.2 Perumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini mahasiswa akan membangun protipe *Linear engine* dengan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pembangunan sistem pegas yang digunakan untuk membangun prototype *linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional
2. Bagaimana pembuatan sistem penyalan prototype *Linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional
3. Bagaimana pembangunan prototype *Linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional menggunakan metode Reverse Engineering

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun sistem pegas yang sesuai dengan tekanan kompresi mesin linear yang dimodifikasi dari mesin konvensional
2. Membangun sistem penyalan prototype linear engine dengan memodifikasi mesin konvensional. Pembangunan prototype *Linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional
3. Membangun prototype *Linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional menggunakan metode Reverse Engineering

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Desain *Linear engine* yang dibangun mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh saudara Setiono Prabowo dengan dosen pembimbing Bapak Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah namun ada perubahan perlakuan pegas
2. Pegas yang digunakan dalam pembuatan prototype *Linear engine* adalah pegas yang telah diproduksi dan digunakan dengan pertimbangan biaya pembuatan pegas yang cukup mahal

1.5 Manfaat

1. Mengetahui komponen-komponen yang digunakan untuk pembangunan *linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional
2. Mengetahui dan dapat menyelesaikan permasalahan yang timbul dalam pembangunan *linear engine*

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

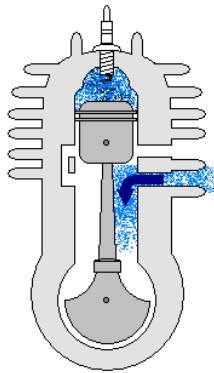
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mesin Konvensional 2 Langkah

Motor 2 langkah melengkapi siklusnya dalam dua gerakan torak(TMB-TMA-TMB) atau dalam satu putaran poros engkol. Langkah buang dan langkah hisap terjadi pada saat torak berada disekitar dari TMB ke TMA. Langkah hisap dan langkah buang dibuka dan ditutup oleh torak itu sendiri. Proses percampuran bahan bakar dan udara ke dalam silinder tidak dilakukan oleh pompa pembilasan. Pembilasan adalah proses pembersihan silinder dari gas buang dan pengisian silinder dengan udara atau campuran bahan bakar dan udara. (Arismunandar, 2002)

Adapun pengaruh dari pembilasan adalah sebagai berikut:

- a. Dengan pembilasan tidak semua gas pembakaran dapat didesak keluar, tapi 45% masih tinggal di dalam silinder, pada pembebanan penuh dan jumlah campuran udara bahan bakar bersih yang masuk menjadi berkurang
- b. Kira-kira 10%(pada beban rendah) sampai 20%(pada beban tinggi) dari campuran udara bahan bakar bersih mengalir keluar bersama gas pembakaran melalui lubang bilas. Hal ini mengakibatkan pembakaran pemakaian bahan bakar dan persoalan pencemaran gas bekas hydrocarbon.
- c. Mencampur minyak pelumas dengan bensin yang dilakukan dalam ruang engkol. Dengan menguapnya bensin, minyak pelumas menempel pada banatalan dan dinding silinder (Soenarta, 2002)



Gambar 2.1 Motor 2 langkah

Dalam motor 2 langkah berikut adalah istilah-istilah yang harus diketahui:

a. Langkah

Adalah jarak antara posisi torak pada saat TMB dan torak pada saat TMA

b. Volume langkah torak

Adalah volume silinder pada saat torak pada posisi TMB sampai TMA

c. Volume sisa

Adalah volume ruang antara TMA dan kepala silinder

d. Perbandingan kompresi

Adalah volume ruang silinder pada saat torak pada posisi TMB dibagi dengan volume ruang pada saat torak posisi TMA

e. Cincin torak

Adalah suatu cincin yang bertujuan menjaga kerapatan antara torak dengan *cylinder liner*. Pada motor 2 langkah menggunakan 2 cincin, cincin yang pertama digunakan untuk menjaga tekanan udara pada ruang bakar agar tidak masuk ke lubang pembilasan dan cincin yang lain untuk menjaga agar bahan bakar dan minyak menerobos ruang bakar

f. Poros engkol

Adalah suatu komponen yang digunakan untuk mengkonversi gerak torak yang translasi menjadi rotasi. Serta menjaga torak untuk tidak berputar saat melakukan kerja yang dapat menutup lubang pembilasan

Rasio Kompresi

Rasio kompresi adalah perbandingan tekanan torak pada posisi TMB dan tekanan pada posisi TMA. Nilai perbandingan kompresi ini senilai dengan perbandingan volume ruang bakar pada saat torak berada di TMB dan volume ruang bakar pada saat torak berada di TMA.

Berdasarkan hukum Boyle

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots [2.1]$$

maka rasio kompresi ruang bakar adalah:

$$R_k = \frac{V_l}{V_{rb}} \dots\dots\dots [2.2]$$

Dimana :

R_k = Rasio Kompresi

V_l = Volume Silinder

V_{rb} = Volume Ruang Bakar

Sistem Penyalaan motor 2 langkah

Pada umumnya motor otto berkapasitas 1 hp menggunakan sistem penyalaan menggunakan platina dan CDI. Untuk membangkitkan loncatan listrik antara kedua elektrode busi diperlukan perbedaan tegangan yang cukup besar. Besarnya tergantung pada beberapa faktor sebagai berikut:

- a) Perbandingan campuran bahan bakar dan udara
- b) Kepadatan campuran bahan bakar dan udara
- c) Jarak antara kedua electrode serta bentuk electrode
- d) Jumlah molekul campuran yang terdapat diantara kedua elektroda, dan
- e) Temperature campuran dan kondisi operasi yang lain

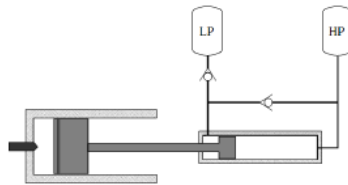
Perbandingan campuran bahan bakar-udara dapat berkisar antara 1: 14,7. Pada umumnya disediakan tegangan yang lebih besar untuk menjamin agar selalu terjadi loncatan api listrik didalam segala keadaan, pada umumnya antara 10.000-20.000 volt. Hal ini mengingat juga kondisi mesin yang berubah sebagai akibat keausan yang tidak dapat dihindari. (Solarso & Kiyokatsu, 1978)

2.2. Linear engine

Linear engine atau juga disebut FPE (Free Torak Engine) adalah mesin yang tidak menggunakan *crankshaft*. Ada dua Jenis FPE yaitu pembakaran didalam silinder dan diluar silinder. Pada tahun 1959 penggunaan FPE sudah diaplikasikan untuk menggerakkan generator. Gerakan FPE yang tidak adanya perubahan arah gerak maka akan lebih sedikit gesekan yang ditimbulkan. (Mikalsen & Roskilly, 2009)

Berdasarkan jumlah toraknya FPE dibagi menjadi 3 yaitu:

a. Single Free Torak

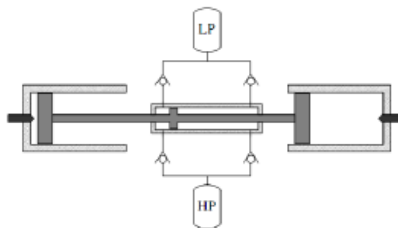


Gambar 2.2 FPE Single Torak

Sumber : (Mikalsen & Roskilly, 2009)

Jenis FPE ini untuk mengembalikan gerakan torak dapat menggunakan *spring* atau *pneumatis*

b. Dua Torak atau *Dual Torak FPE*

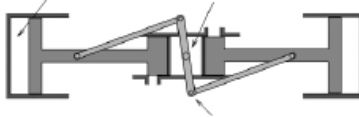


Gambar 2.3 FPE Dual Torak

Sumber : (Mikalsen & Roskilly, 2009)

Jenis FPE ini adalah menggunakan 2 torak yang saling melakukan gerakan perlawanan sehingga tidak perlu pneumatis atau pegas untuk mengembalikan gerakan torak. Dalam jenis FPE ini antara satu torak dengan torak yang lain dihubungkan dengan poros

c. Opposed torak FPE



Gambar 2.4 FPE Opposed Torak

Sumber : (Mikalsen & Roskilly, 2009)

Jenis FPE ini sama halnya dengan Dual Free Torak, tetapi antara kedua torak tidak dihubungkan dengan poros melainkan dengan *connecting rod* yang langsung digunakan untuk pembebanan. (Mikalsen & Roskilly, 2009)

2.3. Pegas

Pegas adalah elemen mesin yang flexibel. Pegas berfungsi untuk memberikan gaya, torsi dan juga untuk menyimpan atau melepaskan energi. Energi disimpan pada benda pegas dalam bentuk memutar, meregang atau kompresi (Norton, 1996)

Energi dikembalikan ke dalam elastis material yang telah terdistorsi. Pegas haruslah memiliki kemampuan untuk mengalami defleksi elastis yang besar. Beban yang bekerja pada pegas dapat berbentuk gaya tarik, gaya tekan, atau torsi. Pada umumnya beroperasi dengan dan beban yang bervariasi secara terus-menerus (Norton, 1996)

Modulus young(dan modulus geser) untuk semua kawat pegas hamper sama besarnya, tetapi batas elastisitas dan kekuatan kekal tergantung dari komposisi, perlakuan panas dan kualitas permukaan (retak dan dekarbonisasi) (Niemann & Winter, 1999)

Hukum Hooke

Hukum Hooke adalah hukum atau ketentuan mengenai gaya dalam bidang ilmu fisika yang terjadi karena sifat elastisitas dari sebuah pir atau pegas. Besarnya gaya Hooke ini secara teori akan berbanding lurus dengan jarak pergerakan pegas dari posisi normalnya atau dalam persamaan matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F=k.x \dots\dots\dots[2.3]$$

Dimana:

F = gaya (N)

k = konstanta pegas (N/m)

x = jarak pergerakan pegas dari posisi normalnya (m)

Hukum hooke menyatakan bahwa hubungan antara gaya F yang meregangkan pegas dan pertambahan panjang (x), didaerah yang ada dalam batas kelentingan pegas.

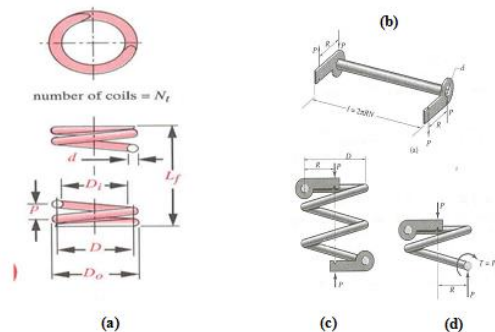
$$F= k.x \text{ atau } F=k(\text{tetap})$$

k adalah suatu tetapan perbandingan yang disebut tetapan pegas yang nilainya berbeda untuk pegas yang berbeda. Tetapan pegas adalah gaya persatuan tambahan panjang. Satuannya dalam SI adalah N/m

Pada pembangunan *Linear engine* ini menggunakan jenis pegas *helical compression spring* (pegas helix tekan). Helix memiliki banyak variasi bentuk standar memiliki diameter *coil*, *pitch*, dan *spring rate* yang konstan. *Pitch* dapat dibuat bervariasi sehingga *spring rate*-nya juga bervariasi. Penampang kawat umumnya bulat, tetapi juga ada yang berpenampang persegi. (Norton, 1996)

Pegas helix tekan yang paling umum adalah pegas kawat dengan penampang bulat, diameter *coil* konstan, dan *pitch* yang konstan. Geometri utama pegas helix adalah sebagai berikut:

Berikut adalah visualisasi pegas helix



Gambar 2.5 Geometri Pegas jenis helix

Sumber : Norton, 1996

d : diameter kawat

D : diameter rata-rata coil

L_f : panjang pegas L_f

N_t : jumlah lilitan

p : pitch (jarak yang diukur dalam arah sumbu coil dari posisi *center* sebuah lilitan ke posisi *center* lilitan berikutnya.

c : Indeks pegas (ukuran kerampingan pegas)

Nilai indeks pegas antara 4-12

$c < 4$ pegas sulit dibuat

$c > 12$ pegas akan mengalami buckling

Nilai indeks pegas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$c = D/d \dots\dots\dots [2.4]$$

Dimana:

D : diameter pegas

d : diameter kawat pegas

Indeks pegas atau kekakuan pegas diperlukan untuk menghitung perubahan bentuk dan proses ayunan dan kejutan pegas (Niemann & Winter, 1999)

Dalam merencanakan penggunaan pegas, berikut adalah beberapa parameter yang harus menjadi pertimbangan dalam pemilihan pegas

Penentuan nilai faktor tegangan dari Wahl adalah:

$$K = \frac{4c-1}{4c-4} + \frac{0,615}{c} \dots\dots\dots [2.5]$$

Dimana:

c : Indeks pegas

Pegas yang bekerja dengan frekuensi tinggi membutuhkan frekwensi pribadi yang tinggi pula. Frekwensi minimal pegas tidak boleh kurang dari 5,5 kali frekwensi pembebanana. (Solarso, 1978)

Penentuan frekuensi yang akan diberikan kepada pegas. Untuk pegas yang digunakan untuk benda berulang dan memiliki kecepatan maka

$$Ns = a \frac{70d}{\pi n D^2} \sqrt{\frac{G}{\gamma}} \dots\dots\dots [2.6]$$

Dimana:

α : Konstanta yang besarnya

$\frac{1}{2}$ jika kedua ujung pegas tetap atau bebas

$\frac{1}{4}$ jika satu ujung bebas dan ujung yang lain tetap

d : Diameter kawat (mm)

D : Diameter lilitan rata-rata (mm)

Ns : Jumlah lilitan yang aktif

G : Modulus geser

Untuk baja = 8000 (kg/mm²)

γ : Berat jenis pegas

Untuk baja = $7,85 \times 10^{-6}$ (kg/mm³)

Dalam pegas beroperasi pertambahan tegangan gesernya adalah:

$$\tau = \frac{N_s h K}{8190} \dots \dots \dots [2.6]$$

Dimana:

Ns : frekuensi pegas (RPM)

h : perubahan panjang (mm)

K : nilai faktor tegangan

Nilai konstanta pegas

$$k = \frac{G d^4}{8 n D^3} \dots \dots \dots [2.7]$$

Dimana:

G : Modulus geser

Untuk baja = 8000 kg/mm²

d : Diamater kawat pegas

n : Putaran yang dapat diterima oleh pegas

D : Diamater pegas(mm)

BAB III METODE PENELITIAN

Pada penelitian menggunakan metode rekayasa modifikasi mesin konvensional menjadi *linear engine*. Secara khusus penelitian ini terfokus pembangunan *linear engine* silinder tunggal 2 langkah menggunakan *spring system* atau sistem pegas sebagai kerja balik daripada torak. Adapun garis besar dalam penelitian ini adalah dimulai dari desain, penyiapan komponen, perakitan dan dilanjutkan dengan pengujian .

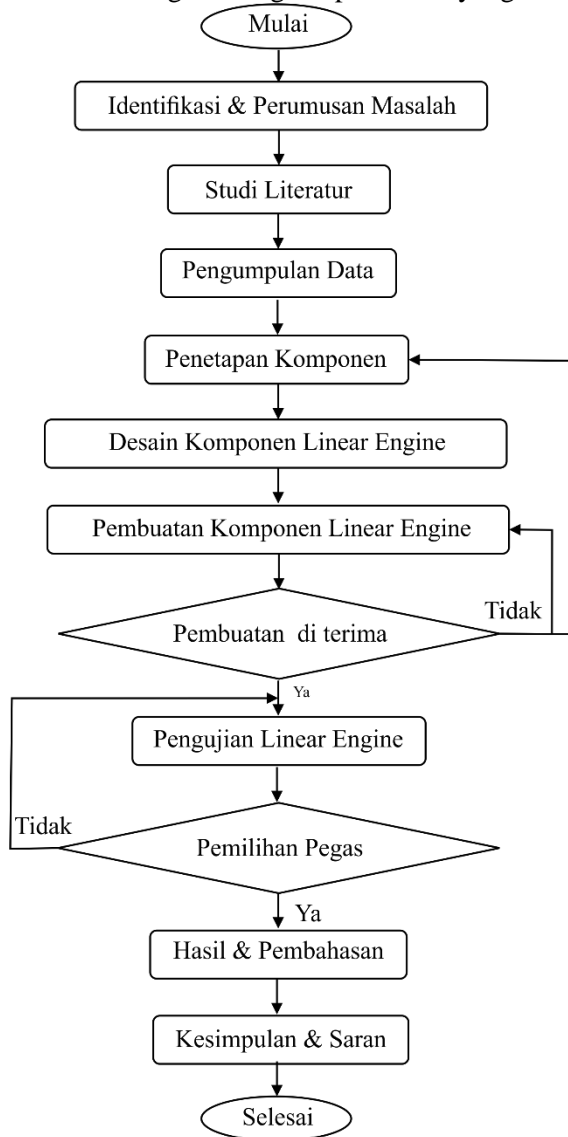
3.1 Pengumpulan data

Untuk melakukan pembangunan prototipe *linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data daripada mesin konvensional. Berikut adalah data mesin konvensional yang akan dimodifikasi:

Tabel 3.1 Dimensi Mesin Konvensional

No	Objek Observasi	Simbol	Nilai	Satuan
1	Diameter Ruang Bakar (Bore)	D	30	mm
2	Panjang Langkah (Stroke)	L	30	mm
3	Diameter torak	Dt	29,8	Mm
4	Perbandingan Bahan Bakar dengan Oli	-	25:1	-
5	Jarak Torak TMA dengan kepala silinder	Lc	7	mm
6	Sistem Start	Recoil(platina)		
7	Volume Silinder	Vs	21,195	cc
8	Derajat Pengapian	Dp	27,5	derajat
9	Tekanan Ruang Bakar	P	6	bar
			87	Psi
10	RPM	Stasioner	1512	RPM
		25%	3592	RPM
		50%	5482	RPM
		75%	6448	RPM

Diagram 3.1 adalah langkah-langkah penelitian yang dilakukan:



Gambar 3.1 Flowchart pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Desain susunan komponen *linear engine*

Pada pembangunan *linear engine* ini dilakukan desain *linear engine* untuk mengetahui susunan komponen dan komponen yang dibutuhkan dalam pembangunan *linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional

3.3 Penetapan komponen

Penyiapan komponen dilakukan dengan pemilihan komponen mesin konvensional yang akan diadopsi ke dalam *linear engine* dan membuat komponen baru yang dibuat dalam pembangunan prototipe.

3.4 Perakitan komponen

Setelah pemilihan komponen mesin konvensional dan pembuatan komponen *linear engine* telah dibuat, maka dilakukan proses perakitan komponen yang meliputi pegas, *crankcase* system, dan system pengapian

3.4 Pengujian dan Kalibrasi

Pengujian yang dilakukan pada *linear engine* meliputi: pegas yang digunakan, tekanan ruang bakar, titik pengapian, dan percikan bunga api *spark plug*

3.5 Hasil Pembangunan *Linear engine*

Hasil dari pembangunan *linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional meliputi : Pegas yang digunakan, *Crankcase system* dan *Ignition system*

3.6 Kesimpulan dan Saran

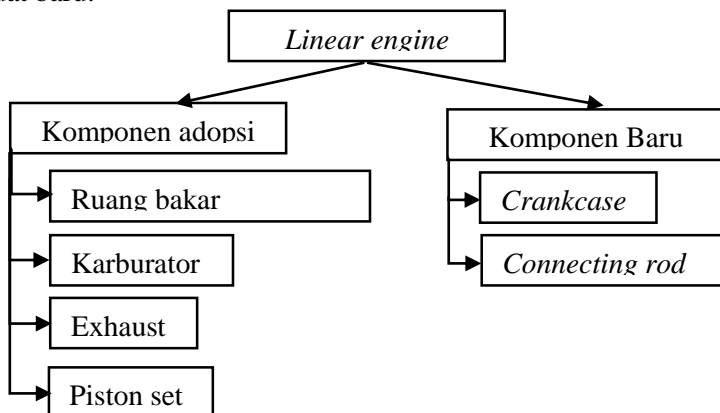
Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah kesimpulan hasil pembangunan *linear engine*. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi ini. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang proses pembangunan prototipe *linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional yang menggunakan sistem pegas sebagai kerja balik daripada torak. Adapun proses pembangunan *linear engine* dengan memodifikasi mesin konvensional diawali dengan perancangan *linear engine*, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan prototipe dan diakhiri dengan pengujian prototipe. Sebelum dilakukan perancangan diperlukan penetapan komponen-komponen. Oleh karena menggunakan metode reverse maka ada beberapa komponen yang tidak didesain dan dibuat sendiri. Cara yang digunakan dalam memilih pegas adalah dengan mencoba pegas pada *linear engine* yang telah dibuat. Sehingga dalam memilih pegas proses yang dilakukan terlebih dahulu adalah penetapan, pembuatan dan perakitan seluruh komponen *linear engine*. Detail langkah-langkah pembangunan prototipe *linear engine* menggunakan sistem pegas adalah sebagai berikut:

4.1 Penetapan komponen-komponen

Komponen *linear engine* dapat diketahui komponen-komponen yang diadopsi dari mesin konvensional dan komponen yang harus dibuat baru.



Berikut komponen-komponen mesin konvensional yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Ruang bakar

Cumustion chamber atau ruang bakar yang digunakan dalam pembangunan *linear engine* tetap menggunakan ruang bakar mesin konvensional



Gambar 4.1 Ruang bakar

b. Karburator

Karburator yang berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar untuk masuk keruang bakar. Knalpot pada pembangunan *linear engine* ini tetap menggunakan karburator mesin konvensional



Gambar 4.2 Karburator

c. Knalpot

Knalpot yang digunakan pada pembangunan *linear engine* ini juga masih menggunakan knalpot mesin konvensional



Gambar 4.3 Knalpot port

d. Torak set

Torak atau torak yang digunakan dalam pembangunan *linear engine* masih menggunakan torak mesin konvensional, yang meliputi *torak*, *torak ring*, dan *pin torak*

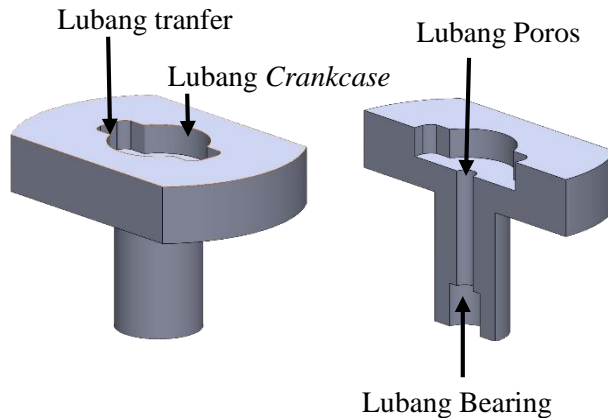


Gambar 4.4 Torak set

Sedangkan komponen yang dibuat dalam pembangunan *linear engine* menggunakan system pegas adalah sebagai berikut:

a. Crankcase

Crankcase yang dibuat menggantikan *crankcase* pada mesin konvensional dimana sebagai tempat mekanisme gerakan translasi menjadi gerakan rotasi pada mesin konvensional, sedangkan pada *linear engine* berfungsi untuk mengatur mekanisme gerakan translasi menjadi translasi



Gambar 4.5 Desain *Crankcase linear engine*

Bagian-bagian utama *crankcase* adalah sebagai berikut:

- Lubang *crankcase*
Lubang *crankcase* berfungsi sebagai tempat penampung bahan bakar yang disemprotkan oleh karburator akibat gerakan torak yang dapat menghisap fluida
- Lubang transfer
Alur bilas berfungsi sebagai jalan masuk bahan bakar menuju keruang bakar dari lubang *crankcase*

- Lubang *connecting rod*
Lubang poros berfungsi sebagai tempat *connecting rod linear engine* bekerja. *Clerance* antara poros dengan *crankcase* serapat mungkin agar bahan bakar tidak terbuang sia-sia
- Tempat bearing
Tempat bearing berfungsi sebagai tempat bearing bekerja. Jenis bearing yang digunakan adalah linear bearing. Linear bearing berfungsi untuk memperlancar gerakan poros dan mengurangi gesekan antara poros dengan *crankcase*

Hasil pembuatan *crankcase linear engine* yang akan digunakan pada *linear engine* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Hasil pembuatan *crankcase*

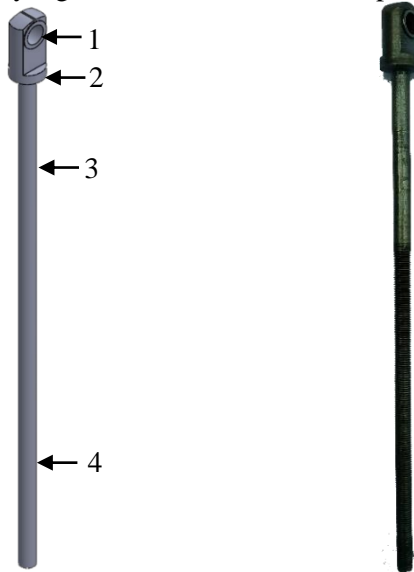
b. *Connecting rod*

Conecting rod pada *linear engine* berbeda dengan *connecting rod* pada mesin konvensional. Pada mesin konvensional *connecting rod* berfungsi untuk merubah gerakan tranlasi menjadi rotasi sedangkan pada *linear engine* berfungsi untuk penyalir tenaga translasi tetap menjadi translasi

Poros digunakan untuk menyalurkan tenaga yang dihasilkan oleh torak. Pada poros terdapat tempat bearing sebagai tempat pin torak. Jenis poros yang digunakan adalah poros transmisi, poros ini berfungsi untuk

memindahkan tenaga mekanik salah satu elemen mesin ke elemen mesin yang lain (Stolk, 1981)

Dalam pembangunan *Linear engine* ada perubahan poros engkol yang semula pada mesin konvensional berfungsi untuk mengubah gerakan translasi menjadi rotasi sedangkan pada *Linear engine* meneruskan gerakan translasi yang dihasilkan oleh torak saat pembakaran.



Gambar 4.7 Rancangan dan hasil pembuatan Poros *Linear engine*

Bagian utama connecting rod pada *linear engine* adalah sebagai berikut:

1. Lubang pin torak, dimensi poros disesuaikan dengan bearing yang digunakan dalam mesin konvensional
2. Penahan langkah torak, bagian ini bertujuan untuk menahan langkah torak ketika setelah pembakaran
3. Bagian poros yang bersentuhan dengan linear bearing. Pada bagian ini dibubut dengan perlakuan khusus untuk menjaga kehalusan dari permukaan poros.

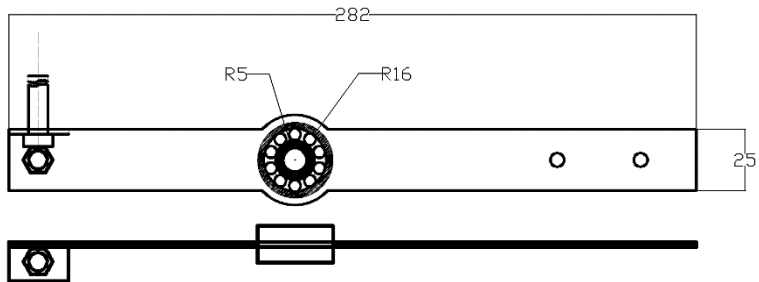
4. Bagian poros yang berprofil ulir berfungsi untuk mengatur kekerasan tekanan pegas

4. 2 Pembangunan sistem penyalan linear engine

Pada penelitian linear engine ini system penyalan meliputi sistem starter connecting rod dan sistem pengapian. Berikut adalah perencanaan sisitem penyalan linear engine:

a. Sistem penyalan connecting rod

Sistem penyalan connecting rod diadopsi dari sistem mesin diesel berkapasitas kecil yaitu menggunakan tangan. Berikut adalah perencanaan sistem penyalan linear engine:



Gambar 4.8 Sistem Penyalan

Prinsip utama sistem penyalan ini adalah menggunakan pesawat sederhana jungkit dengan merubah arah gerakan sehingga memudahkan peneliti untuk mengoperasikan linear engine. Komponen yang digunakan dalam pembangunan sistem penyalan linear engine ini adalah sebagai berikut:

- Mur

Dimensi Mur yang digunakan pada pembuatan sisitem penyalan ini adalah M8 disesuaikan dengan connecting rod

- Bearing

Jenis bearing yang digunakan pada pembangunan linear engine ini adalah *roll bearing* dengan dimensi:

Tebal	: 15 mm
Diamater dalam	: 10 mm
Diamater luar	: 31 mm

- Stang

Dimensi stang yang digunakan dalam pembangunan sistem penyalan ini adalah:

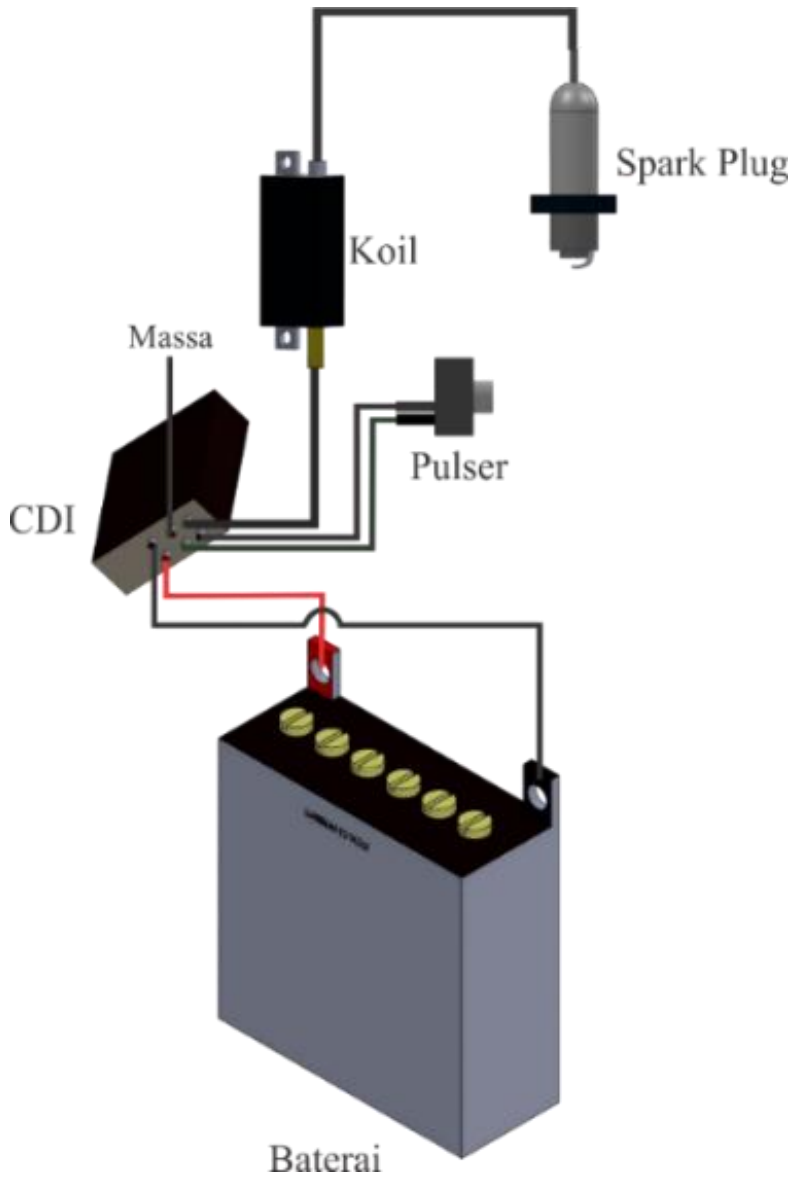
Panjang : 282 mm

Lebar : 25 mm

Tebal : 2 mm

b. Sistem pengapian

Prinsip dasar motor bensin adalah menggunakan sistem pengapian untuk melakukan proses pembakaran, pada umumnya sistem pengapian motor bensin adalah menggunakan platina dan CDI. Pada mesin konvensional yang dimodifikasi menggunakan sistem pengapian platina, kemudian dalam pembangunan *linear engine* ini dimodifikasi menggunakan sistem CDI. Dalam pembangunan *linear engine* ini peneliti tidak menghitung secara detail sistem pengapian, namun hanya menggunakan sistem CDI motor Suzuki smash yang tersedia, sistem pengapian dirubah atau dimodifikasi dengan tujuan untuk mempermudah memercikan bunga api, Karena pada sistem platina membutuhkan gerakan rotasi, sedangkan pada *linear engine* tidak ada gerakan rotasi. Sistem CDI dalam lebih mudah memberikan sinyal nyala percikan api. Adapun rancangan sistem pengapian *linear engine* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9 Susunan komponen sistem pengapian

Komponen-komponen sistem pengapian menggunakan CDI adalah sebagai berikut:

- CDI
 CDI (*Capasitor Discharge Ignition*) berfungsi untuk mengatur waktu pengapian yang untuk digunakan pada saat proses pembakaran. Kinerja CDI dibantu oleh pulser sebagai sensor.



Gambar 4.10 CDI

CDI (*Capasitor Discharge Ignition*) yang digunakan dalam pembangunan *linear engine* ini menggunakan CDI motor smash

- Pulser
 Pulser berfungsi untuk memberikan sensor kepada CDI untuk mengatur agar koil memercikkan bunga api



Gambar 4.11 Pulser

Pulser yang digunakan dalam pembangunan *linear engine* ini menggunakan CDI motor smash

- Baterai

Baterai berfungsi sebagai sumber arus listrik untuk menimbulkan percikan api yang dibutuhkan dalam proses pembakaran



Gambar 4.12 Baterai

Baterai yang digunakan dalam pembangunan *linear engine* ini menggunakan baterai Yuasa 12 volt

- Koil

Koil berfungsi untuk meningkatkan *voltage* yang diberikan oleh baterai



Gambar 4.13 Koil

Koil yang digunakan adalah koil motor Suzuki smash

- Busi
Busi adalah bagian yang berfungsi menghasilkan percikan api



Gambar 4.14 Busi

Spark plug yang digunakan dalam pembangunan sistem pengapian menggunakan spark plug Bosch

- Sudut pengapian
Sudut pengapian pada mesin konvensional yang dimodifikasi adalah pada $27,5^\circ$ sebelum torak berada pada posisi TMA. Namun pada penelitian ini sudut pengapian divariasikan untuk mengetahui kinerja *linear engine*. Selanjutnya dikonversikan dalam *Linear engine* adalah:

$$\frac{27,5^\circ}{180^\circ} = \frac{x}{30 \text{ mm}}$$

$$x = 4.583 \text{ mm}$$

Gambar 4.15 Susunan komponen *Linear engine*

Gambar susunan komponen prototipe *linear engine* digunakan sebagai acuan dala pembangunan *linear engine*. Gambar 4.16 adalah hasil perakitan prototipe *linear engine*:



Gambar 4.16 Hasil Pembangunan *Linear engine*

4. 4 Perencanaan sistem pegas

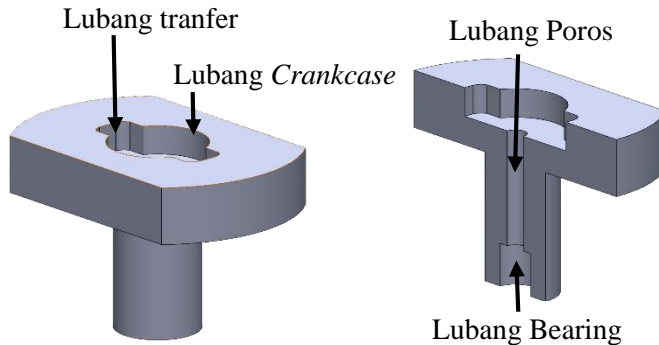
Dalam penelitian ini fungsi utama pegas adalah dapat mengembalikan tekanan yang dihasilkan oleh torak sebagai akibat dari proses pembakaran. Dalam merancang *linear engine* menggunakan sistem pegas yang ideal adalah dimulai dengan merencanakan pegas yang meliputi jenis bahan, diameter kawat pegas, jarak lilitan pegas, diameter pegas, jumlah lilitan dan panjang pegas yang mengacu pada dimensi dan spesifikasi mesin seperti langkah torak, tekanan ruang bakar, dan tekanan yang dihasilkan ketika beroperasi. Dalam merencanakan sistem pegas yang digunakan pada linear engine dengan memodifikasi mesin konvensional adalah mengacu pada tekanan minimal yang diberikan pada torak dan panjang langkah mesin konvensional yang akan dimodifikasi. Selain itu, komponen sistem pegas pada linear engine meliputi crankcase, connecting rod, penahan rotasi pegas, serta pegas yang digunakan. Sebelum perencanaan sistem pegas dilakukan pengukuran terlebih dahulu pada mesin konvensional yang akan dimodifikasi. Berdasarkan hasil pengukuran pada mesin konvensional didapat data sebagai berikut:

Tekanan minimal ruang bakar	: 6 bar
Panjang langkah	: 30 mm

Mengacu pada data yang telah didapat adapun perencanaan komponen sistem pegas dalam pembangunan linear engine adalah sebagai berikut:

a. Crankcase

Fungsi utama crankcase pada linear engine adalah tempat mekanisme connecting rod menyalurkan gerakan yang dihasilkan oleh torak ketika terjadi pembakaran

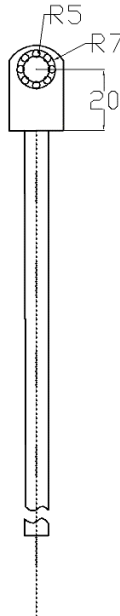


Gambar 17 Perencanaan crankcase linear engine
Bagian-bagian utama *crankcase* adalah sebagai berikut:

- Lubang *crankcase*
Lubang *crankcase* berfungsi sebagai tempat penampung bahan bakar yang disemprotkan oleh karburator akibat gerakan torak yang dapat menghisap fluida. Dimensi lubang crankcase disesuaikan dengan dimensi ruang bakar mesin konvensional yang dimodifikasi. Diameter lubang crankcase yang direncanakan adalah 35 mm
- Lubang transfer
Lubang transfer berfungsi sebagai jalan masuk bahan bakar menuju keruang bakar dari lubang crankcase. Lubang transfer disesuaikan dengan lubang pada ruang bakar
- Lubang *connecting rod*
Lubang diameter connecting rod yang direncanakan 8 mm
- Tempat bearing
Diameter lubang bearing disesuaikan dengan beraing yang digunakan. Dimensi bearing adalah sebagai berikut:
 Panjang : 25 mm
 Diameter : 15 mm

b. Connecting rod

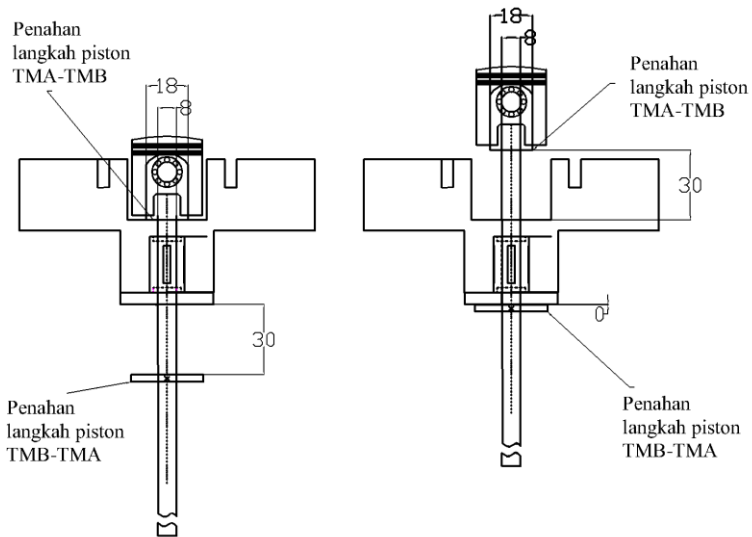
Connecting rod pada motor 2 langkah berfungsi mengkonversikan gerakan translasi torak untuk dirubah menjadi gerak rotasi. Pada pembuatan linear engine ini connecting rod berfungsi meneruskan gerakan translasi yang dihasilkan oleh torak. Berikut adalah perencanaan connecting rod pada linear engine:



Gambar 4.18. Connecting rod linear engine

Lubang bearing disesuaikan dengan diameter luar bearing pin torak. Lubang bearing pada connecting rod yang dibuat adalah berdiameter 7 mm. Titik perubahan diameter connecting rod disesuaikan dengan panjang langkah torak yang berfungsi sebagai titik penahan langkah torak dari TMA ke TMB. Jarak titik perubahan dengan diameter lubang bearing adalah sepanjang 20 mm. Terdapat 2 penahan langkah torak yang gunakan ketika yaitu ketika torak bergerak dari TMA-TMB dan dari TMB-TMA.

c. Penahan langkah torak



Gambar 19 Perencanaan penahan langkah torak

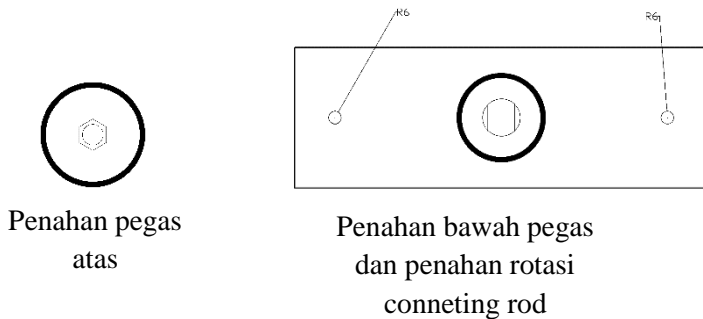
Penahan langkah torak dari TMA ke TMB

Penahan langkah torak dari TMA ke TMB menggunakan perubahan diameter connecting rod yang berada pada crankcase dan diameter yang masuk ke dalam bearing. Perencanaan titik perubahan diameter connecting rod ini diukur ketika torak berada pada posisi TMB. Jarak titik perubahan diameter dari kepala torak adalah 20 mm

Penahan langkah torak TMB-TMA

Penahan torak dari TMB ke TMA pada pembangunan linear engine ini menggunakan mur yang dipasang pada connecting rod

d. Penahan pegas



Gambar 4. 20 Perencanaan penahan pegas

Penahan pegas pada linear engine berfungsi tempat pegas melakukan kerja. Pada pembangunan prototype linear engine yang menggunakan sistem pegas ini terdapat 2 penahan yaitu penahan atas dan penahan bawah.

Penahan pegas atas

Penahan atas pegas dibuat menempel pada connecting rod, sedangkan bentuknya disesuaikan dimensi pegas yang digunakan

Penahan pegas bawah

Penahan pegas bawah dibuat jadi satu dengan penahan rotasi connecting rod. Pada penahan bawah pegas ini dibuat dapat diatur yang digunakan untuk menekan pegas.

Torak motor 2 langkah berbeda dengan torak 4 langkah. Pada bentuk torak 2 langkah terdapat bagian yang berfungsi sebagai katup transfer bahan bakar dari crankcase menuju keruang bakar. Pada mekanis connecting rod mesin konvensional dipastikan tidak melakukan gerakan rotasi. Pada pembangunan protitipe linear engine ini juga direncanakan connecting rod tidak melakukan gerakan rotasi. Karena gerakan rotasi connecting rod dapat menutup mekanisme katup bahan bakar dengan bentuk torak yang sudah ada.

e. **Pemilihan Pegas**

Pada pemilihan pegas akan dipilih 1 pegas dari 3 pegas yang dicoba. Sebelum dilakukan pemilihan Berikut adalah proses pemilihan pegas yang dilakukan:

Pengukuran tekanan ruang bakar mesin konvensional yang dimodifikasi

Pengukuran tekanan ruang bakar mesin konvensional adalah yang dimodifikasi adalah dengan bantuan alat pengukur tekanan udara. langkah langkah memeriksa tekanan ruang bakar adalah sebagai berikut:

1. Nyalakan mesin konvensional untuk memastikan bahwa mesin dalam kondisi baik
2. Lepas Spark plug dari ruang bakar
3. Pasang alat tes tekanan udara pada ruang bakar
4. Lakukan proses starting dengan memutar recoil seperti pada penyalaan mesin
5. Baca tekanan yang tunjukkan oleh alat tes tekanan udara

Berdasarkan hasil pengukuran diketahui bahwa tekanan ruang bakar mesin konvensional yang akan dimodifikasi adalah 6 bar. Maka nilai 6 ini bar akan digunakan sebagai acuan dalam pemilihan pegas.

Panjang langkah mesin konvensional yang dimodifikasi

Salah satu pertimbangan dalam memilih pegas untuk pembangunan *linear engine* adalah mengetahui panjang langkah torak. Hal ini digunakan dalam perencanaan poros untuk menentukan stopper atau penahan langkah torak. Berikut adalah pengukuran panjang langkah torak pada mesin konvensional yang akan dimodifikasi:



Gambar 4.21 Pengukuran panjang langkah torak
 Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan:
 Kedalaman torak pada TMB : 44.60 mm
 kedalaman torak pada saat TMA : 14.60 mm
 sehingga adalah panjang langkah torak mesin konvensional yang akan dimodifikasi adalah 30 mm. Maka nilai 30 mm digunakan sebagai acuan dalam pemilihan pegas.

Tekanan yang harus dipenuhi untuk memilih system pegas Pada pemilihan pegas ini dilakukan percobaan dengan cara merakit pegas pada linear untuk dibaca nilai tekanan pegas. Penekanan pegas pada percobaan ini melebihi panjang langkah torak karena ketika terjadi pembakaran tekanan akan naik, dimana peneliti mengambil estimasi 0,5 langkah sebagai percobaan. Peralatan yang digunakan adalah *pressure gauge* udara.



Gambar 4.22 Alat ukur kompresi

Berikut adalah proses pemilihan pegas yang digunakan pada *linear engine*:

Pegas 1

Pegas 1 diinstal atau dirakit pada *linear engine* kemudian adakan diukur tekanan ruang bakar yang dihasilkan. Adapun data hasil pengukuran tekanan ruang bakar adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Pegas 1

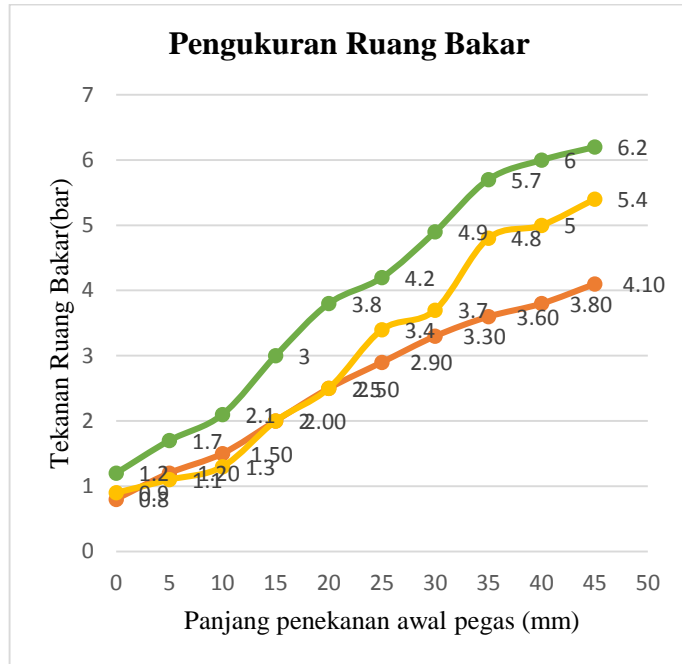
No	Data		Satuan
1	Panjang pegas	100	mm
2	Diamater pegas	22.8	mm
3	Diamater kawat	2,5	mm
4	Jumlah lilitan aktif	21	

Tabel 4.2 Data Pegas 2

No	Data		Satuan
1	Panjang	200	mm
2	Diamater pegas	35,25	mm
3	Diamater kawat	4,15	mm
4	Jumlah lilitan aktif	11	

Tabel 4.3 Data Pegas 3

No	Data		Satuan
1	Panjang	310	mm
2	Diamater pegas	35,25	mm
3	Diamater kawat	4,15	mm
4	Jumlah lilitan aktif	23	



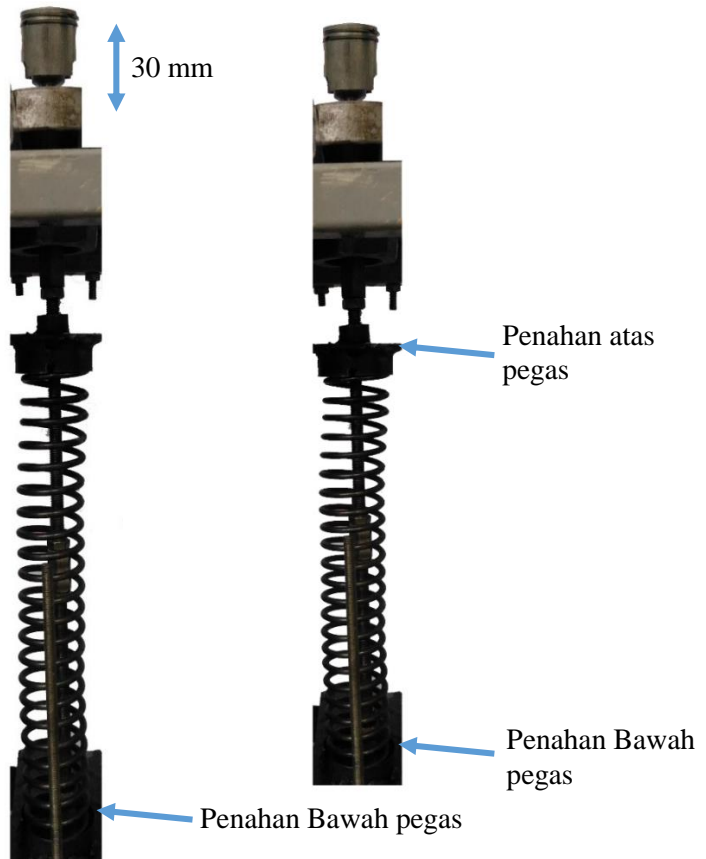
Gambar 4.23 Hasil pengukuran Pegas

Berdasarkan grafik 4.24 dapat diketahui bahwa tekanan dari ketiga pegas yang dilakukan percobaan, pegas 3 memiliki tekanan yang memenuhi kebutuhan tekanan ruang bakar. Pegas 3 mampu ditekan ditekan sepanjang 45 mm untuk mendapatkan tekanan sebesar 6,2 dan dapat ditekan 30 mm setelah ditekan 45 mm

Setelah melakukan proses pemilihan pegas dilakukan, maka pegas 3 dapat menggantikan fungsi crank untuk menggerakkan torak dari TMB ke TMA sesuai dengan kebutuhan tekanan ruang bakar yang telah diukur sebelumnya. Sehingga pegas ke 3 dipilih dan diinstal pada *linear engine*.

pemasangan pegas

Tekanan piston = 6 bar



Gambar 4.24 Rancangan pemasangan pegas

Tekanan pada ruang bakar yang harus diberikan pegas adalah sebesar 6 bar. Maka pada pemilihan pegas pegas harus dapat menghasilkan tekanan sebesar tekanan 6 bar. Sehingga sebelum proses penyalaan mesin pegas sudah mampu menekan sebesar 6 bar. Kemudian pegas harus di tekan kembali mengikuti sistem poros sepanjang 30 mm

4. 5 Pengujian *linear engine*

Setelah tahap perakitan *linear engine* dan pemilihan pegas telah dilakukan maka proses selanjutnya adalah pengujian hasil pembangunan *linear engine*. Pengujian *linear engine* ini bertujuan untuk mengetahui bahwa komponen yang telah dibuat berfungsi dengan baik atau tidak. Sebelum pengujian *linear engine* dilakukan terlebih dahulu dilakukan Pengujian yang hari dipenuhi terlebih dahulu. Pengujian mengacu pada prinsip terjadinya pembakaran yang harus tersedia yaitu : udara, percikan api dan bahan bakar. Maka Pengujian yang dilakukan meliputi tekanan ruang bakar, titik pengapian, percikan bunga api, serta bahan bakar yang tersedia. Berikut adalah proses pengujian *linear engine* yang dilakukan:

a. Pemeriksaan Tekanan ruang bakar

Pengukuran tekanan ruang bakar dilakukan kembali dengan menggunakan pressure gauge udara atau alat ukur udara untuk mengetahui tekanan setelah dilakukan perakitan. Langkah-langkah pemeriksaan tekanan ruang bakar adlah sebagai berikut:

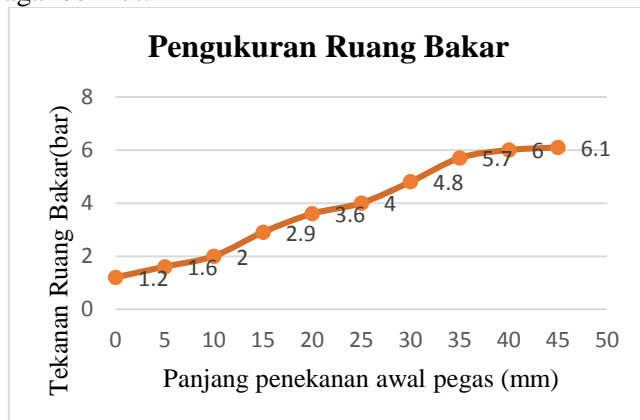
1. Lepas spark plug dari ruang bakar
2. Pasang ulir pressure gauge pada ulir lubang spark plug
3. Matikan arus yang tersedia dari baterai
4. Lakukan proses starting dengan penekanan pegas dari 5 sampai 45 dan catat hasil pengukuran

Berikut adalah hasil pengukuran tekanan ruang bakar yang dilakukan:

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran
Tekanan Ruang Bakar *Linear engine*

No	Penekanan Awal (mm)	Tekanan Ruang Bakar (bar)
1	0	1,2
2	5	1,6
3	10	2
4	15	3
5	20	3,6
6	25	4
7	30	4,8
8	35	5,7
9	40	6
10	45	6,1

Untuk memudahkan pembacaan data, maka dibuat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.25

Hasil pengukuran ruang bakar linear engine Berdasarkan grafik 4.21 dapat diketahui bahwa pegas mampu menghasilkan tekanan sebesar 6,1 bar sehingga memenuhi tekanan yang dibutuhkan oleh mesin untuk melakukan pembakaran yang hanya membutuhkan tekanan sebesar 6 bar

b. Percikan bunga api

Pemeriksaan tegangan pada prinsipnya menggunakan osiloskop. Tetapi pada penelitian ini menggunakan teori terkait mengenai percikan bunga api dan praktik dilapangan. Berdasarkan buku yang ditulis oleh Soenarta, Nakoela (2002), dengan judul buku “Motor Serba Guna” bahwa percikan api yang berwarna biru bertegangan sebesar 10.000-20.000 volt dan masih baik untuk memercikkan api untuk proses pembakaran. Berikut adalah proses pemeriksaan percikan bunga api pada linear engine

1. Lepaskan spark plug dari ruang bakar
2. Pasang kabel dari koil ke busi
3. Tempelkan ujung spark plug pada badan mesin untuk menyambungkan massa. Hal ini bertujuan untuk menyambungkan arus negatif
4. Lakukan proses penyalaan linear engine dengan menarik pegas dari TMA ke TMB kemudian lepaskan
5. Pada saat proses penyalaan dilihat percikan api diantara ujung spark plug
6. Percikan api ini menjadi indicator kinerja spark plug

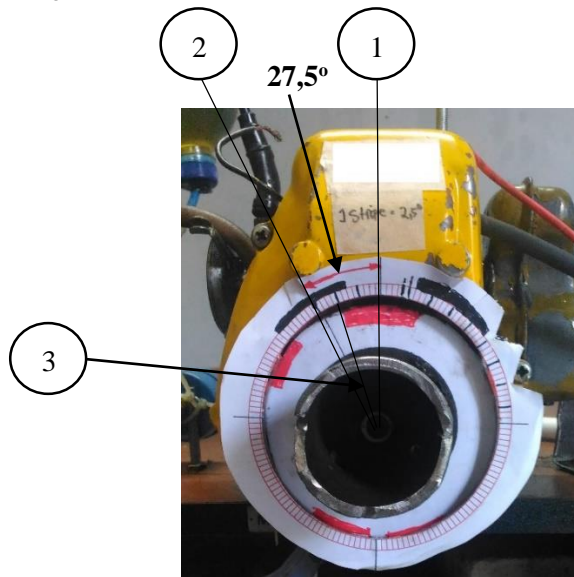
Berasarkan hasil pemeriksaan percikan api yang ditimbulkan percikan Bungan api yang dihasilkan pada *linear engine* berwarna biru. Hal ini menunjukkan bahwa percikan bunga api pada *linear engine* sudah tersedia.

c. Titik pengapian *linear engine*

Pemeriksaan titik pengapian dilakukan dengan memeriksa derajat titik pengapian mesin konvensional kemudian mengkonversi derajat pengapian yang sudah ditemukan untuk diterapkan pada linear engine

Berikut adalah langkah-langkah pemeriksaan derajat pengapian pada mesin konvensional:

1. Posisikan torak berada pada posisi TMA
2. Tandai roda gila dan *crankcase* pada titik nol atau piston pada posisi TMA dalam satu garis
3. Putar roda gila sampai ujung magnet pada roda gila bersentuhan dengan magnet yang berada pada koil
4. Periksa derajat titik roda gila dengan titik nol pada *crankcase* yang telah ditandai sebelumnya ketika magnet pada roda gila bertemu dengan magnet pada koil



Gambar 4. 26 Pemeriksaan sudut pengapian mesin konvensional

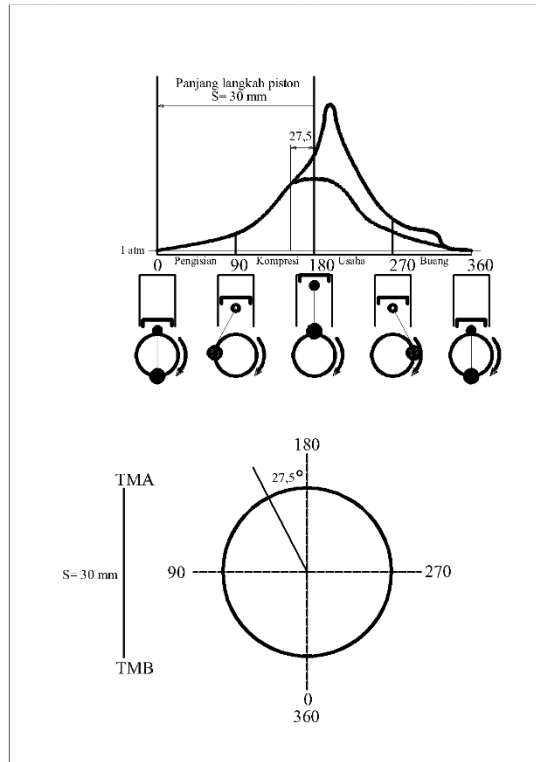
1 stripe = 2,5°

1. Garis nol derajat
2. Garis titik pengapian
3. Garis magnet pada rodal gila meninggalkan magnet yang terdapat pada koil

Berdasarkan hasil pembacaan derajat mesin konvensional maka derajat titik pengapian mesin konvensional adalah 27,5 derajat sebelum TMA, maka nilai ini yang digunakan dalam merencanakan titik pengapian pada linear engine.

Perencanaan titik pengapian pada linear engine

Untuk mengkonversikan titik pengapian mesin konvensional ke linear engine diawali dengan membuat ilustrasi pada diagram derajat piston motor 2 langkah kemudian dilustrasikan kembali menggunakan diagram benda bebas. Gambar 4.26 adalah diagram sudut engkol mesin konvensional yang digunakan:



Gambar 4.27 Diagram motor konvensional motor 2 langkah

Berdasarkan ilustrasi pada 4.28 gerakan rotasi connecting rod 180° sebanding dengan 30 mm panjang langkah piston maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{180^\circ}{1^\circ} = \frac{30 \text{ mm}}{x}$$

$$x = 0,16 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat dinyatakan bahwa setiap 1° sebanding dengan 0,16 mm maka titik pengapian pada linear engine adalah senilai

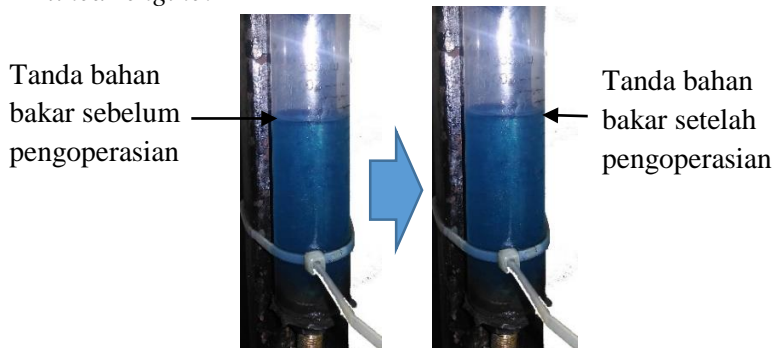
Titik pengapian linear engine = $27,5 \times 0,16 \text{ mm}$
4,4 mm sebelum TMA

d. Pengujian suplai bahan bakar

Pemeriksaan suplai bahan bakar dilakukan dengan menggunakan tangka ukur. Berkurangnya bahan bakar pada gelas ukur menjadi tolak ukur bahwa terjadi proses pembakaran pada ruang bakar *linear engine*. Percobaan pengoperasian dilakukan 10 kali percobaan penyalaan *linear engine*. Berikut langkah langkah pemeriksaan bahan bakar pada *linear engine*:

- Masukkan bahan bakar pada gelas ukur
- Beri tanda dimaka garis permukaan bahan bakar yang berada pada gelas ukur
- Lakukan proses starting dengan menggerakkan poros *linear engine* 10, 20, 30
- Lihat kondisi bahan bakar yang berada pada *linear engine*

Berikut adalah proses pemeriksaan bahan bakar pada *linear engine*:



Gambar 4.28 Pemeriksaan bahan bakar

Berdasarkan pemeriksaan bahan bakar menggunakan gelas ukur, bahan bakar pada gelas ukur yang berkurang sangat sedikit. Dengan proses penyalaan 30 kali kurang lebih 0,1 garis atau 0,1 ml. Hal ini menunjukkan bahwa bahan bakar belum masuk ke ruang bakar secara maksimal

Setelah dilakukan pemeriksaan linear engine dilakukan berikut adalah tabel rekapitulasi dari hasil pemeriksaan yang telah dilakukan

Tabel 4.5 Hasil kalibrasi *linear engine*

No	Parameter Pengujian	Nilai	Kondisi
1	Tekanan Ruang Bakar	6,2 bar	terpenuhi
2	Percikan bunga api	Berwarna biru	terpenuhi
3	Titik pengapian	4,58 mm	terpenuhi
4	Bahan bakar	Sudah ada, tetapi sedikit	Belum terpenuhi

diketahui bahwa Pengujian *linear engine* sudah terpenuhi. Berikut adalah pengujian *linear engine*:

Tabel 4.10 Hasil pengujian *linear engine*

No	Penekanan pegas (mm)	Kondisi <i>Linear engine</i>
1	0	belum menyala
2	5	belum menyala
3	10	belum menyala
4	15	belum menyala
5	20	belum menyala
6	25	belum menyala
7	35	belum menyala
8	25	belum menyala
9	40	belum menyala
10	45	belum menyala

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, linear engine belum dapat beroperasi, sehingga perlu dilakukan pemeriksaan untuk mengetahui permasalahan yang ada pada *linear engine*

4. 6 Pemeriksaan Sistem

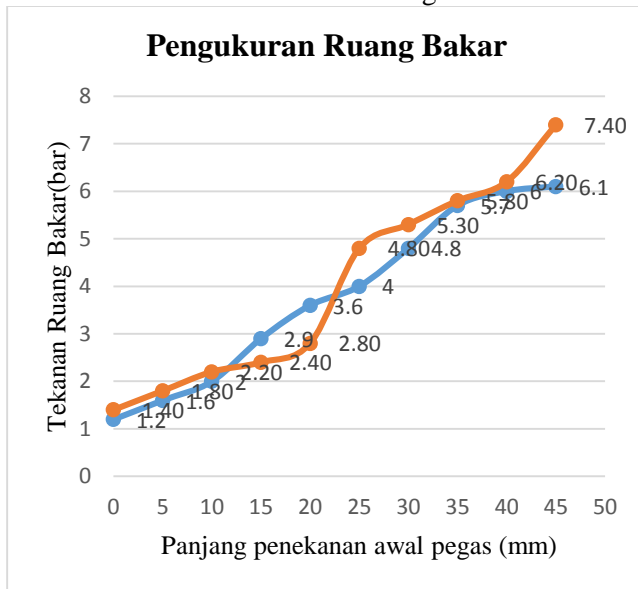
Melihat hasil percobaan pengoperasian *Linear engine* yang belum dapat beroperasi maka dilakukan Pemeriksaan. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa komponen-komponen yang telah dibuat dan dirakit menjadi *linear engine*. Berikut adalah beberapa pemeriksaan yang dilakukan:

a. Pemeriksaan tekanan udara ruang bakar

Tekanan udara ruang bakar pada *linear engine* sudah memenuhi untuk namun masih 6,2 bar. Diperkirakan tekanan ruang bakar kurang besar maka kemudian dilakukan pemeriksaan kebocoran antara *crankcase* dengan ruang bakar, sebagai berikut:

1. Pasang pressure gauge yang dapat berhenti pada tekanan maksimal
2. *Linear engine* dicoba dinyalakan dan ukur tekanan ruang bakar
3. Catat tekanan maksimal yang dihasilkan
4. Buka baut yang menggabungkan antara *crankcase* dengan ruang bakar
5. Ampas bagian yang bertemu dengan ruang bakar pada kertas gosok yang ditempelkan pada kaca
6. Tambahkan pelumas padat pada connecting rod pada bagian yang bergesekan dengan *crankcase*
7. *Crankcase* dipasang kembali dengan ruang bakar tetapi dengan penambahan perapat dan pada poros diberikan pelumas antara poros dengan *crankcase*
8. Setelah *crankcase* dan ruang bakar digabung maka dilakukan pengukuran kembali tekanan ruang bakar dengan pressure gauge udara

Adapun hasil pengukuran tekanan ruang bakar setelah dilakukan Pemeriksaan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.29 Hasil Perbandingan tekanan sebelum dan sesudah penambahan pelumas padat

Berdasarkan gambar 4.30 dapat diketahui tekanan yang mampu dihasilkan setelah penambahan pelumas padat (*Grease*) mencapai 7,4 bar sehingga lebih tinggi dari tekanan sebelum dilakukan penambahan pelumas



Gambar 4.30 Tekanan ruang bakar

Setelah *Linear engine* dilakukan percobaan, *linear engine* belum dapat beroperasi. Pemeriksaan yang dilakukan selanjutnya adalah pemeriksaan bahan bakar pada ruang bakar *linear engine*

b. Pemeriksaan Sistem Bahan Bakar



Gambar 4.31 Pemeriksaan bahan bakar pada mesin konvensional dan *linear engine*

Adapun proses pemeriksaan Sistem bahan bakar adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan fungsi karburator
 Karburator yang digunakan pada *linear engine* diperiksa dulu dengan menggunakan karburator pada mesin yang serupa. Dari hasil pemeriksaan, karburator dapat berfungsi dengan baik dengan dibuktikan dengan menyalanyamesin konvensional
2. Mengukur suplai bahan bakar
 Untuk memastikan bahan bakar dapat masuk ke ruang bakar pemeriksaan dilakukan dengan membandingkan bahan bakar yang berkurang pada *linear engine* dan mesin konvensional menggunakan gelas ukur. Berikut pemeriksaan pengurangan bahan bakar pada mesin konvensional dan *linear engine* yang dilakukan:

Pemeriksaan pada linear engine

Langkah-langkah pemeriksaan suplai bahan bakar pada linear engine:

1. Pasang semua system pembakaran pada linear engine meliputi karburator dan tangki ukur
2. Bahan bakar dimasukkan kedalam tangka yang memiliki garis ukur pada tangki ukur
3. Proses penyalaan linear engine dilakukan 10 kali langkah
4. Dilakukan pemeriksaan bahan bakar yang berkurang pada tangki ukur

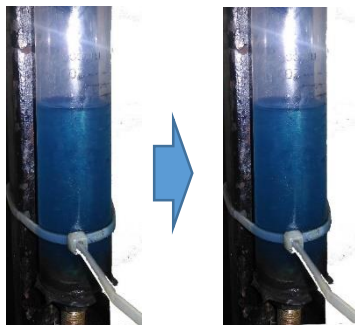
Berikut hasil pemeriksaan bahan bakar pada linear engine

Tabel 4.7

Pemeriksaan suplai bahan bakar linear engine

No	Jumlah langkah	Bahan bakar yang berkurang
1	2x 10 langkah	0,2 ml
2	2x 20 langkah	0,4 ml
3	2x30 langkah	0,6 ml

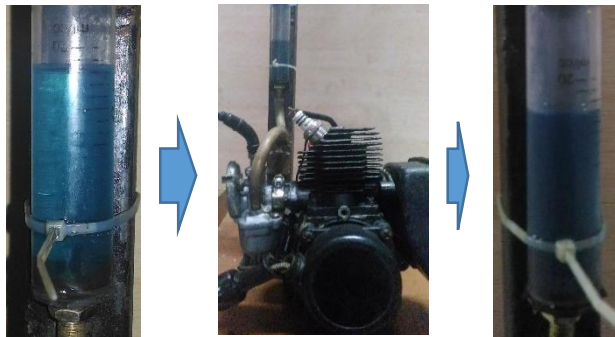
Berdasarkan hasil pemeriksaan bahan bakar yang berkurang pada linear engine setiap 2x10 langkah proses penyalaan bahan bakar yang berkurang 0,1 ml



Gambar 4.32

Pemeriksaan suplai bahan bakar pada linear engine

Pemeriksaan pada Mesin Konvensional



Gambar 4.33 Pengukuran suplai bahan bakar Mesin konvensional

Tabel 4.13

Pemeriksaan suplai bahan bakar pada mesin konvensional

No	Jumlah tarikan	Bahan bakar yang berkurang
1	10 langkah	1 ml
2	20 langkah	2 ml
3	30 langkah	3 ml

Berdasarkan hasil pemeriksaan bahan bakar yang berkurang pada mesin konvensional setiap 10 tarikan penyalan bahan bakar yang berkurang 1 ml

Berdasarkan pemeriksaan yang telah dilakukan diperkirakan kecepatan awal yang menimbulkan linear engine belum dapat beroperasi terus menerus. Karena kecepatan awal akan menentukan jumlah bahan bakar yang masuk pada ruang bakar. Dengan satu tarikan linear engine sama dengan satu langkah torak sedangkan satu tarikan mesin konvensional dapat menimbulkan langkah yang banyak pada torak, sehingga perlu perbaikan mekanisme starting yang lebih baik seperti menggunakan motor linear untuk menggerakkan connecting rod.

c. Pemeriksaan percikan bunga api

Pemeriksaan tegangan pada prinsipnya menggunakan osiloskop. percikan api yang berwarna biru bertegangan sebesar 10.000-20.000 volt dan masih baik untuk memercikkan api untuk proses pembakaran. (Soenarta, 2002)

Adapun proses pemeriksaan percikan api adalah sebagai berikut:

1. Spark plug dilepas dari ruang bakar
2. Spark plug digunakan pada mesin konvensional yang serupa. Sebelum dipasang pada ruang bakar terlebih dahulu dilihat percikan Bunga api dengan menyambungkan pangkal spark plug dengan re coil dan bagian ujung ke massa atau badan mesin
3. Mesin dicoba diputar flywheel
4. Lihat percikan Bunga api yang ditimbulkan. Hasil dari pengamatan warna bunga percikan bunga api berwarna biru. Hal ini menunjukkan busi dapat menghasilkan percikan bunga api yang baik
5. Langkah selanjutnya adalah dengan memasang spark plug pada ruang bakar
6. Mengoperasi mesin konvensional.
7. Dari hasil pengoperasian mesin konvensional yang dapat melakukan operasi maka menunjukkan spark plug dapat digunakan untuk proses pembakaran.
8. Mengoperasikan *linear engine*
9. Pangkal spark plug dihubungkan dengan koil dan bagian ujung dihubungkan dengan massa atau badan mesin
10. Tarik *connecting rod* kemudian dilepaskan. Dari hasil pengamatan percikan api yang ditimbulkan berwarna biru. Hal ini menunjukkan spark plug pada *linear engine* dapat berfungsi dengan baik

Berdasarkan pemeriksaan yang telah dilakukan percikan bunga api tidak menjadi penyebab belum beroperasinya *linear engine*.

d. Tekanan udara masuk

Selanjutnya *linear engine* dilakukan penambahan tekanan udara masuk untuk mendorong hasil pengabutan bahan bakar untuk masuk keruang bakar. Penambahan udara dilakukan dengan memberikan udara bertekanan pada inlet karburator. Pada penambahan udara ni menggunakan kompresor. Adapun langkah-langkah penamabahan udara pada *linear engine* adalah sebagai berikut:

1. Pasang selang dari dari kompresor ke lubang masuk udara kaburator
2. Buka valve pada kompresor
3. Tarik *connecting rod* kemudian lepaskan berkali kali
4. Usahakan bahan bakar tetap tersedia karena dapat berkurang dengan dorongan udara pada karburator



Gambar 4.34

Peristiwa pembakaran yang terjadi pada *linear engine* Dengan menggunakan penambahan tekanan udara karburator dengan penekanan awal sebesar 30 mm dan sudut pengapian pada 4,583 sebelum TMA maka prototipe *linear engine* dapat beroperasi sampai 3 kali proses pembakaran

e. Titik pengapian

Pada motor 2 langkah panjang langkah kerja adalah 360 derajat. Pada penelitian ini panjang langkah piston adalah 30 mm atau 60 mm langkah kerja sedangkan titik pengapian pada mesin konvensional yang digunakan adalah 27,5 derajat sebelum TMA kemudian divariasikan mulai dari 2,5 sampai 30 derajat dengan range 2,5 derajat atau pada *linear engine* divariasikan seperti pada tabel 4.14

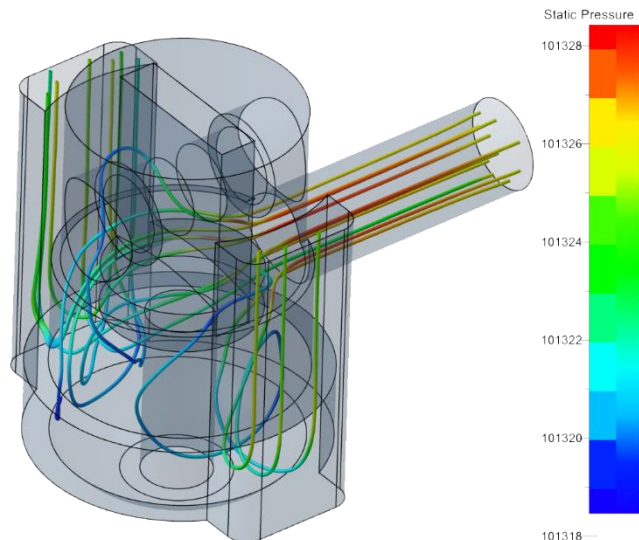
Tabel 4.14 Titik pengapian *linear engine*

No	Sudut Pengapian <i>Linear engine</i>	Hasil Operasi
1	0.40	Belum beroperasi
2	0.80	Belum beroperasi
3	1.20	Belum beroperasi
4	1.60	Belum beroperasi
5	2.00	Belum beroperasi
6	2.40	Belum beroperasi
7	2.80	Belum beroperasi
8	3.20	Belum beroperasi
9	3.60	Belum beroperasi
10	4.40	Belum beroperasi
11	4.80	Belum beroperasi

Berdasarkan hasil percobaan penyalan *linear engine* belum juga dapat beroperasi terus menerus dengan variasi . Pemeriksaan selanjutnya adalah dugaan sementara aliran bahan bakar mengendap pada lubang *crankcase*. Oleh karena itu dilakukan simulasi untuk mengetahui aliran bahan bakar pada *crankcase* yang telah dibuat.

f. Aliran bahan bakar pada *crankcase*

Bentuk *crankcase* pada motor 2 langkah memiliki bentuk yang memiliki kerapatan sangat kecil dan dibentuk untuk dapat mengarahkan campuran bahan bakar masuk kedalam ruang bakar. Pada torak berada posisi TMB bibir ruang bilas berada tepat pada lubang menuju ruang bakar, kemudian tepat pada posisi TMA bibir bandul berada pada saluran masuk bahan bakar dan dapat menutup lubang menuju ruang pembakaran. Pada karter terdapat pipi engkol yang bertujuan untuk memperkecil ruang karter sehingga mudah untuk menyuplai kabut bahan bakar masuk kedalam ruang bakar. (BPM. Arends dan H. Berenschot “Motor Bensin”(1980) . Untuk mengetahui aliran bahan bakar pada *linear engine* maka dilakukan proses simulasi. Simulasi aliran bahan bakar ini menggunakan software SolidWorks dan dengan simulasi pada software Numeca. Adapun hasil simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 4.35 Simulasi aliran bahan bakar

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan aliran dapat menuju keruang bakar tetapi terdapat aliran yang berhenti pada lubang *crankcase* sehingga bahan bakar yang masuk keruang bakar berkurang.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan pembangunan linear engine dengan memodifikasi mesin konvensional menggunakan sistem pegas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- A. Sistem pegas dapat dibangun dengan ukuran diameter kawat pegas 4,15 mm panjang 305 mm diameter pegas 35.25 mm untuk mencapai 6,2 bar yang harus ditekan sepanjang 45 mm
- B. Hasil Sistem penyalan linear engine yang mengadopsi dari sistem penyalan mesin diesel tidak cocok digunakan dalam pembangunan linear engine dengan system pegas
- C. Rekayasa modifikasi mesin konvensional menjadi linear engine sudah dilakukan mulai dari mengubah casing pembilasan, membangun system pegas, dan mengadopsi system pengapian, tetapi sistem pembilasan mengalami penurunan dibandingkan dengan mesin konvensional diduga karena tingkat kevakuman masih kurang

5.2 Saran

Dari hasil Pemeriksaan yang dilakukan pada penelitian ini disarankan untuk pembangunan prototipe linear diperbaiki mengenai beberapa hal sebagai berikut:

1. Komponen *linear engine* sebaiknya dibuat dengan CNC agar tingkat kepresisiannya lebih tinggi sehingga kebocoran yang terjadi dapat berkurang.
2. Sistem bahan bakar sebaiknya diperbaiki agar bahan bakar dapat masuk keruang bakar lebih

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. (2002). *Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB.
- Fathalaz, A. (2011). *Design and Simulation of A single cylinder* .
Malaysia: Univesity Malaysia.
- Mikalsen, R., & Roskilly, A. (2009). *A Review if free piston engine history and applications* . United Kingdom: Sir Joseph Swan Institute di Research Newcastle.
- Niemann, G., & Winter, H. (1999). *Elemen Mesin*. Jakarta: Erlangga.
- Norton, L. (1996). *Machine Design an Integrated Approach Printice*. Tokyo: Hall International, Inc.
- Soenarta, N. (2002). *Notor Serba Guna*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Solarso, & Kiyokatsu, s. (1978). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Bandung: PT. Pradnya.
- Stolk, I. (1981). *Machine Onderdelen*. Jakarta: Erlangga.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran I Data Objek

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan mesin dengan spesifikasi sebagai berikut untuk di lakukan pembuatan *Linear engine*

Dalam percobaan ini peneliti menggunakan Mesin Pemotong rumput yang akan dimodifikasi menjadi *Linear engine*



Mesin Konvensional

Merk	: Tanaka
Type Mesin	: Sum 328 SE
Power Mesin	: 1,4 HP 1,04 kW
RPM	: 7500 (Project guide)
Stroke	: 30 mm
Isi Silinder	: 21 cc
Diameter poston	: 29,8 mm
Ring Piton	: 2
Bahan Bakar dan Oli	: 25:1

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran II Pembuatan Poros *Linear engine*

Setelah dilakukan beberapa pengukuran terhadap mesin konvensional sebelumnya, berikut adalah proses pembuatan :



Proses Pengerjaan poros *Linear engine*



Poros dan *Connecting rod Block*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Ponorogo 29 Mei 1994 merupakan anak keempat dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Dharmawanita Serag, SDN 3 Pomahan, SMP Negeri 2 Pulung, SMA Negeri 1 Ponorogo. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Ponorogo pada tahun 2012 akhirnya Penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Insitut Tknologi Sepuluh Nopember terdaftar dengan NRP 4212100119

Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan , penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir mengambil bidang Marine Power Plan(MPP). Dalam menempuh kuliah penulis juga aktif dalam kegiatan Departemen Fakultas dan Insitut Teknologi Sepuluh Nopember baik kegiatan di dalam negeri maupun di luar negeri.